

REGIONÁLNA TYPIZÁCIA A VÝBER REPREZENTATÍVNYCH LAVÍNOVÝCH DRÁH V MALEJ FATRE

Lucia Szalmová¹, Jozef Minár^{2,3}, Miroslav Žiak⁴

¹ Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky,
Odbor prierezových činností a financovania projektov, Bratislava,
e-mail: szalmova@gmail.com

² Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej
geografie a geoekológie, e-mail: minar@fns.uniba.sk

³ Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie
a geoekologie, e-mail: josef.minar@osu.cz

⁴ Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej
geografie a geoekológie, e-mail: miroziak@gmail.com

Abstract: The regional typification of the avalanche paths in the Malá Fatra Mts. is the main goal of the paper. Updating of the database of avalanche paths was a starting point. A concept of the Avalanche Geographical Information System (Žiak, 2012) including digital elevation model and orthophoto maps was used for it. Several options of clustering avalanche paths using factor analysis and different methods of clustering were realized for the appropriate choice of the model avalanche paths for long term monitoring. Separation index and Index of centrality were used as criterions for recovery of the best clustering method and optimal model avalanche paths selection.

Key words: snow avalanches; Malá Fatra Mts.; regional typification; avalanche hazard

1 ÚVOD

Lavínová problematika je v horských krajinách, k akým patrí aj Slovensko, stále veľmi aktuálna. Lavíny sú fenomén, ktorý dokáže zanechať nevyčísliteľné škody na ľudských životoch či majetkoch. Extrémy počasia dokážu neustále prekvapiť. Výsledným javom môžu byť udalosti ako lavína vo Veľkej Fatre v roku 1924, ktorá zničila osadu Rybô neďaleko obci Staré Hory a zabila 18 ľudí. Ďalším príkladom je lavína z marca roku 2009 v Žiarskej doline (Západné Tatry), ktorá nezabíjala len vďaka odľahlosti miesta jej výskytu. V skutočnosti nešlo len o jednu lavínu, ale o sériu viacerých lavín, ktoré vymietli dno celej doliny. Lavína označovaná ako „storočná“ zasiahla plochu vyše 28 ha a výška jej nánosu dosahovala 20 m. Podľa

následných meraní a výpočtov sa zistilo, že celkové množstvo akumulovaného snehu dosahovalo 1,89 mil. m³. Takáto ohromná masa snehu sa topila vyše dvoch rokov.

Bežné lavíny u nás takéto rozmery nedosahujú. Pre bezpečný pohyb v horách je však dôležité poznať potenciálne miesta lavínového ohrozenia. V súčasnej dobe sa vo veľkej miere robí lavínový výskum s využitím aplikácií geografických informačných systémov (ďalej GIS). Tieto aplikácie slúžia hlavne na modelovanie priebehu, vizualizáciu a predpovedanie vzniku lavín v súvislosti so zmenami počasia. Základom pre takýto výskum je poznať dlhodobé (relatívne stabilné) predpoklady pre vznik lavínového ohrozenia, a to vplyvom georeliéfu, krajiny pokrývky a dlhodobých klimatických charakteristík.

Pokusy o hodnotenie lavínovej hrozby na základe relatívne statických charakteristík sa u nás objavujú už od prelomu miléníí (Hreško, 1998; Hreško a Bugár, 2000, 2001; Rybár, 2002; Barka, 2003, 2005; Barka a Rybár, 2003). Empirickým základom pre všetky takéto hodnotenia je však evidencia (kataster) existujúcich lavínových dráh v našich pohoriach. Jeho prvá ucelená verzia (Kňazovický, 1978; Milan, 1981) bola utvorená tradičným spôsobom (terénnym mapovaním). V súčasnosti sa otvára možnosť spresniť a doplniť toto dielo s využitím metód diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) a geografických informačných systémov (GIS). Týmto spôsobom vznikol pod vedením Žiaka (2009, 2012) koncept Lavínového geografického informačného systému (ďalej LGIS) ako alternatíva katastra lavínových dráh.

V rámci budovania LGISu bol pôvodný kataster lavínových dráh pre pohorie Malá Fatra upravovaný a aktualizovaný vzhľadom na nové lokality potenciálneho lavínového ohrozenia. Týmto spôsobom bola zostavená inovovaná databáza lavínových dráh. Vzhľadom na počet definovaných lavínových dráh (spolu 104 v rámci celej Malej Fatry – 5 dráh v lúčanskej časti, 99 dráh v krivánskej časti), ako i viacero sledovaných charakteristík v rámci nich, to bola časovo a technicky náročná práca.

Sledované kvantitatívne charakteristiky v takto vytvorenej databáze nám umožnili uskutočniť regionálnu typizáciu lavínových dráh v Malej Fatre v zmysle Bezáka (1993), pričom v príspevku sú prezentované výsledky v jej krivánskej časti, kde je situovaných 95 % lavínových dráh celého pohoria. Analyzovali sme viacero možných variantov zhľukovania dráh s využitím faktorovej analýzy a rôznych metód zhľukovej analýzy pre potrebu výberu dvoch modelových dráh pre monitoring lavínového nebezpečenstva. Výsledky štatistickej analýzy sme porovnali s už skôr expertne vybranými dvoma modelovými dráhami (Stienky a Smrekovec), ktoré sa vzájomne odlišujú svojim charakterom (Stienky – skôr hôľny ráz, východná orientácia, Smrekovec – prevládajúca kosodrevina, západná až juhozápadná orientácia) a navyše sú ľahko dostupné a nachádzajú sa blízko seba (obr. 1a).

2 MATERIÁL A METÓDY

Základnými vstupnými údajmi pre databázu lavínových dráh LGISu boli už spomínaný Atlas lavínových dráh zostavený Kňazovickým (1978), ortofotosnímky

a digitálny model reliéfu (ďalej DMR) vytvorený na báze zvektorizovaných vrstevníc základných topografických máp mierky 1 : 10 000. Zatiaľ čo Kňazovický zaznamenáva lavínové svahy ako trojuholníky rôznej veľkosti (obr. 1b), ktoré definujú šírku odtrhového pásma, dosah lavíny a farebne vyjadrujú frekvenciu výskytu (veľmi častý, častý, ojedinelý), my sme jeho pôvodné dráhy priestorovo špecifikovali s využitím DPZ a DMR (obr. 1a). Detailnejší opis digitalizácie lavínových dráh v sledovanom území je uvedený v práci Szalmová (2011).

Po digitalizácii lavínových dráh, čo predstavovalo časovo najnáročnejšiu časť práce, sme pristúpili k voľbe vstupných premenných (tab. 1), na základe ktorých boli vykonávané vybrané štatistické analýzy. Jednotlivé premenné boli relatívne jednoznačné a ľahko merateľné veličiny súvisiace s aktivitou lavínových dráh. Problematickou veličinou bola frekvencia lavín, ktorej hodnoty boli len v troch kategóriách (podľa Milana, 1981):

1. lavíny sa vyskytujú raz alebo viackrát ročne, najmenej raz za 6 rokov,
2. lavíny sa vyskytujú raz za 6 až 30 rokov,
3. lavíny sa vyskytujú raz za 30 až 100 rokov.

Pokúsili sme sa „kvantifikovať“ tieto kategórie použitím stredných hodnôt intervalov uvádzaných v katastri lavínových dráh. Pri výskyte lavín viackrát ročne však chýbalo horné ohraničenie a tak bola použitá dolná hranica intervalu.

Vzhľadom na tento (v podstate poradový) charakter frekvencie sme pre vlastnú regionálnu typizáciu použili len 15 ostatných charakteristík. Na redukciiu ich počtu sme v programe Statgraphics Plus použili faktorovú analýzu a získali tak šesť nových premenných tzv. faktorov. Tieto faktory resp. hodnoty faktorového skóre pre každú dráhu, boli použité ako vstupné premenné do zhlukovej analýzy, ktorá využíva viaceré metódy zhlukovania a miery vzdialenosti. Hľadali sme pritom metódu, ktorá na jednej strane dostatočne rozdiferencuje lavínové dráhy a zároveň budú jednotlivé vyčlenené triedy korelovať s mierou lavínovej hrozby (frekvenciou lavín).

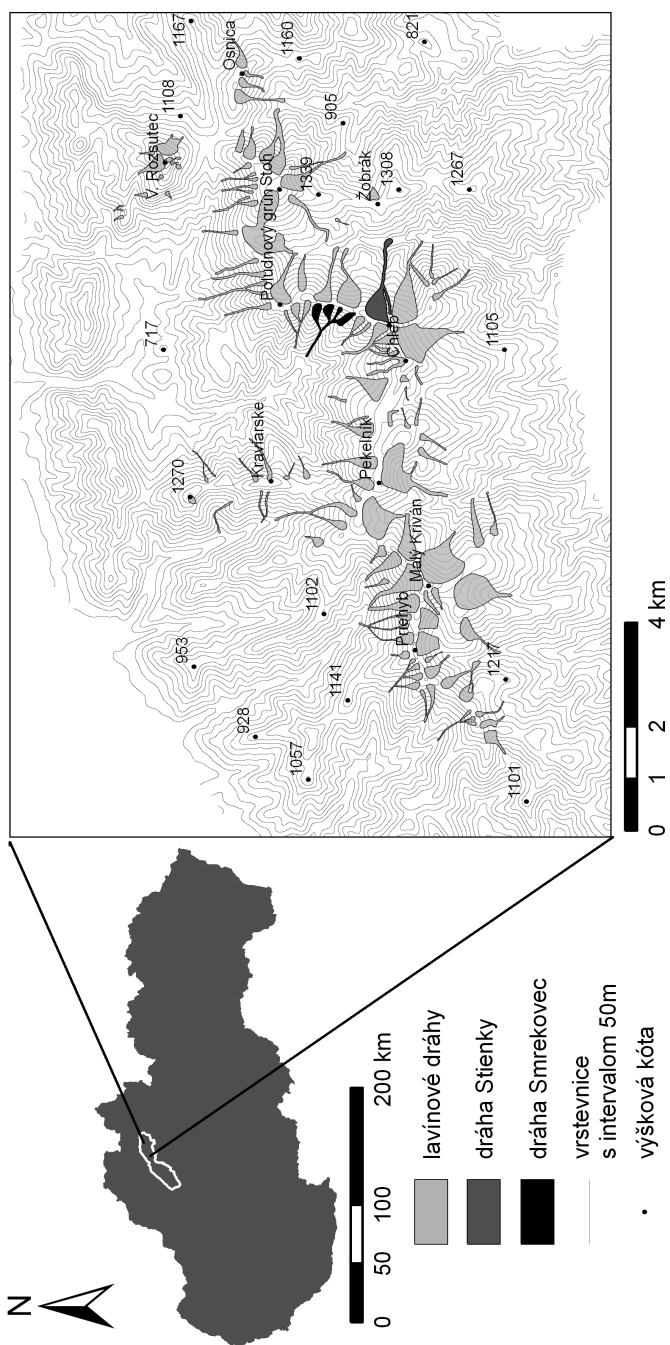
Testovali sme tieto metódy:

- metóda najbližšieho suseda (*Nearest Neighbor*),
- metóda najvzdialenejšieho suseda (*Furthest Neighbor*),
- centroidná metóda (*Centroid*),
- mediánová metóda (*Median*),
- metóda priemernej vzdialenosti (*Group Average*),
- Wardova metóda (*Ward's*),
- metóda k-priemerov (*K-mean*).

Z mier vzdialenosti boli testované:

- Druhá mocnina euklidovskej vzdialenosti (*Squared Euclidean*),
- Euklidovská vzdialenosť (*Euclidean*),
- Hammingova vzdialenosť (*City Block distance*).

Keďže typizáciu sme realizovali za účelom odlíšenia dvoch kontrastných tried (ktoré by mali reprezentovať dve modelové dráhy), testovali sme delenia na tri triedy (predpokladali sme, že tretia trieda môže reprezentovať prechodnú alebo malú zvyškovú špecifickú množinu dráh). Ako kritérium pre posúdenie kvality typizácie



Obrázok 1a Poloha územia a lavínové svahty v krivánskej časti Malej Fatry podľa LGIS



Obrázok 1b Poloha územia a lavínové svahy v krivánskej časti Malej Fatry podľa Khazovického (1978)

Tabuľka 1 Vstupné premenné štatistickej analýzy

	Premenná	Označenie	Jednotka
1	frekvencia výskytu lavín	frekvencia	rok ⁻¹
2	rozloha dráhy	rozloha	m ²
3	geomorfologický prejav	geom_prejav	% plochy
4	alpínske lúky	alp_luky	% plochy
5	kosodrevina	kosodrevina	% plochy
6	lesný porast	les	% plochy
7	nadmorská výška – priemer	Nvm	m n. m.
8	nadmorská výška – štandardná odchýlka	Nvs	m
9	sklon – priemer	Sm	°
10	sklon – štandardná odchýlka	Ss	°
11	orientácia – teplotný efekt	Ot	°
12	orientácia – veterný efekt	Ov	°
13	horizontálna krivosť – priemer	Hkm	m ⁻¹
14	horizontálna krivosť – štandardná odchýlka	Hks	m ⁻¹
15	normálová krivosť – priemer	Nkm	m ⁻¹
16	normálová krivosť – štandardná odchýlka	Nks	m ⁻¹

Vysvetlivky:

- geomorfologický prejav – plocha nechráneného povrchu v zmysle Žiak (2012),
- orientácia voči svetovým stranám v zmysle teplotného efektu a veterného efektu: orientácia – teplotný efekt je vyjadrená v intervale <0, 180>, kde 0 je najchladnejšia (S) a 180 najteplejšia (J) orientácia, pričom V=Z=90, analogicky (v rozpätí náveterná – záveterná) bola počítaná orientácia – veterný efekt,
- horizontálna a normálová krivosť v smere spádnic v zmysle Krcho (1973).

bola zvolená premenná „frekvencia výskytu lavín“, ktorá do regionálnej typizácie nevstupovala. Zadefinovali sme index rozlíšenia *IR* jednoducho ako rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou priemernej frekvencie lavín v jednotlivých triedach danej klasifikácie podľa vzťahu:

$$IR = (P_{max} - P_{min}) \quad , \quad (1)$$

kde *IR* – index rozlíšenia,

P_{max} – priemerná hodnota frekvencie výskytu lavín v tej z tried, v ktorej je najvyššia,

P_{min} – priemerná hodnota frekvencie výskytu lavín v tej z tried, v ktorej je najnižšia.

Kritériom pre výber metódy, ktorá najlepšie rozdiferencuje lavínové dráhy z hľadiska ich nebezpečnosti (frekvencie výskytu lavín), bola maximalizácia rozdielu $P_{max} - P_{min}$. Relatívny význam tohto kritéria stúpa s veľkosťou korelácie frekvencie lavín a sledovaných charakteristík lavínových dráh. Preto sme definovali aj tento vzťah pomocou viacnásobnej lineárnej regresie.

V ďalšom kroku sme definovali index centrality IC pre modelové dráhy Stienky a Smrekovec, aby sme zistili, do akej miery sú expertne vybrané modelové dráhy reprezentatívne pre dve hlavné triedy danej klasifikácie. Čím je menšia hodnota indexu centrality, tým je menšia vzdialenosť od centroidu v rámci triedy, pričom centroid vyjadruje optimálnu polohu v rámci uvažovania všetkých dráh v jednej klasifikačnej triede. Index centrality bol počítaný na základe vzťahu:

$$IC = \sum_{i=1}^6 \left| \frac{S_{i(V_i)} - S_{iKL(V_i)}}{S_{i_{max}} - S_{i_{min}}} \right|, \quad (2)$$

kde IC – index centrality,

- $S_{i(V_i)}$ – faktorové skóre i -teho faktora lavínovej dráhy, pre ktorú sa IC počíta,
- $S_{iKL(V_i)}$ – faktorové skóre i -teho faktora centroidu triedy, do ktorej lavínová dráha spadá,
- $S_{i_{max}}$ – maximálne faktorové skóre i -teho faktora,
- $S_{i_{min}}$ – minimálne faktorové skóre i -teho faktora.

3 VÝSLEDKY

Zo spomínaných 15-tich vstupných premenných sme faktorovou analýzou získali šesť nových premenných – faktorov, ktoré obsahujú 97 % informácií pôvodných premenných. Tieto faktory nie sú v praxi priamo merateľné a vyjadrujú od seba nezávislé pozadové veličiny, ktoré korelujú s pôvodnými (vzájomne závislými) premennými (tab. 2).

Tabuľka 2 Premenné najviac ovplyvňujúce jednotlivé faktory

Faktor	Premenné
S1	les (-), geom_prejav, alp_lúky
S2	Nkm, Nks, Ss
S3	Nvs, Hks, rozloha
S4	kosodrevina
S5	Ot (-), Ov
S6	Sm

Takto získané faktory boli následne použité ako vstupné premenné do zhlukovej analýzy, s cieľom vyselektovať lavínové dráhy do troch rôznych tried tak, aby jedna trieda bola reprezentovaná modelovou lavínovou dráhou Stienky, druhá trieda modelovou lavínovou dráhou Smrekovec a do tretej (málopočetnej) triedy patrili excentrické dráhy lišiace sa od obidvoch predchádzajúcich tried. Pri každej testovanej metóde boli použité a tiež testované rôzne miery vzdialenosti. Celkovo sme otestovali 21 variantov typizácie 104 lavínových dráh Malej Fatry do troch regionálnych tried (tab. 3).

Tabuľka 3 Početnosť lavínových dráh rozdelených do troch tried pri použití rôznych regionálno-taxonomických metód. (Hodnoty v triedach, do ktorých spadajú expertne vybrané dráhy Stienky a Smrekovec sú zvýraznené na šedo).

Metóda		Počet dráh v triede		
		1	2	3
1	<i>Nearest Neighbor Squared Euclidean</i>	102	1	1
2	<i>Nearest Neighbor Euclidean</i>	102	1	1
3	<i>Nearest Neighbor City Block</i>	102	1	1
4	<i>Furthest Neighbor Squared Euclidean</i>	53	49	2
5	<i>Furthest Neighbor Euclidean</i>	53	49	2
6	<i>Furthest Neighbor City Block</i>	53	49	3
7	<i>Centroid Squared Euclidean</i>	102	1	1
8	<i>Centroid Euclidean</i>	102	1	1
9	<i>Centroid City Block</i>	102	1	1
10	<i>Median Squared Euclidean</i>	94	9	1
11	<i>Median Euclidean</i>	102	1	1
12	<i>Median City Block</i>	102	1	1
13	<i>Group Average Squared Euclidean</i>	100	3	1
14	<i>Group Average Euclidean</i>	100	3	1
15	<i>Group Average City Block</i>	64	39	1
16	<i>Ward's Squared Euclidean</i>	54	9	41
17	<i>Ward's Euclidean</i>	54	9	41
18	<i>Ward's City Block</i>	56	9	39
19	<i>K-mean Squared Euclidean</i>	12	51	41
20	<i>K-mean Euclidean</i>	40	34	30
21	<i>K-mean City Block</i>	14	53	37

Vo viac ako polovici prípadov sa veľká väčšina lavínových dráh dostala do jedinej regionálnej triedy. Pre ďalšiu analýzu sme preto vybrali 9 typizácií, ktoré utvorili minimálne dve triedy s výrazným počtom lavínových dráh. Následne sme na základe výpočtov indexu rozlíšenia *IR* pre tieto varianty typizácie (tab. 4) zistili, že nami zvolené účelové kritérium kvality klasifikácie je najvyššie pri použití Wardovej metódy (bez ohľadu na použitú mieru vzdialenosti), teda táto metóda najlepšie diferencuje triedy z hľadiska priemerných hodnôt frekvencie výskytu lavín.

Viacnásobná lineárna regresná analýza ukázala závislosť medzi frekvenciou lavín a vygenerovanými faktormi na úrovni $R^2 = 33 \%$ (pričom faktory 4 a 5 boli z modelu vypustené pre nízku signifikantnosť). Pri použití primárnych charakteristík bola hodnota R^2 dokonca len 10% , pričom signifikantné boli len dve pôvodné charakteristiky – % lesa a nadmorská výška. Testovali sme aj to, či tento výsledok ne-

mohla ovplyvniť problematická „kvantifikácia“ kategórie frekvencia lavín „viackrát ročne“. Avšak ani experimentovanie s rôznymi hodnotami frekvencie v tejto kategórii neprinieslo zlepšenie regresného vzťahu.

Tabuľka 4 Hodnoty priemernej frekvencie výskytu lavín v rámci triedy a index rozlíšenia *IR* pre deväť najviac diferencujúcich variantov regionálno-taxonomických metód. (Hodnoty v triedach, do ktorých spadajú expertne vybrané dráhy Stienky a Smrekovec sú zvýraznené na šedo).

Metóda	Triedy			IR
	1	2	3	
<i>Furthest Neighbor Squared Euclidean</i>	0,072	0,063	0,056	0,016
<i>Furthest Neighbor Euclidean</i>	0,072	0,063	0,056	0,016
<i>Furthest Neighbor City Block</i>	0,076	0,059	0,056	0,020
<i>Ward's Squared Euclidean</i>	0,081	0,015	0,060	0,660
<i>Ward's Euclidean</i>	0,081	0,015	0,060	0,660
<i>Ward's City Block</i>	0,081	0,015	0,061	0,660
<i>K-mean Squared Euclidean</i>	0,046	0,076	0,063	0,030
<i>K-mean Euclidean</i>	0,059	0,090	0,053	0,037
<i>K-mean City Block</i>	0,036	0,090	0,068	0,040

Výsledné hodnoty indexu centrality pre modelové dráhy Stienky a Smrekovec s použitím deviatich najviac diferencujúcich variantov regionálno-taxonomických metód zobrazuje tab. 5. Najnižší index centrality ($IC = 2,40$ pre Stienky a $IC = 2,68$ pre Smrekovec) vznikol pri použití Wardovej metódy s využitím Hammingovej vzdialenosti (resp. vzdialenosť *City Block*). Táto metóda teda utvára dve základné (výrazne početnejšie ako tretia) triedy, pre ktoré sú pôvodne vybrané modelové dráhy najreprezentatívnejšie vzhľadom k ostatným lavínovým dráham. Priestorové rozdelenie lavínových dráh do regionálnych tried na základe Wardovej metódy vyjadruje obr. 2. Nakoľko sa v lúčanskej časti Malej Fatry nachádza len 5 lavínových dráh, ktoré zásadne neovplyvňujú získané výsledky, obr. 2 z dôvodu lepšej prehľadnosti zobrazuje len krivánsku časť pohoria Malá Fatra.

S využitím Wardovej metódy sme ďalej analyzovali aj ostatné lavínové dráhy. Index centrality sme počítali pre zvyšných 102 lavínových dráh, pretože sme mali v úmysle zistiť, či existujú dráhy, ktoré by mali vzdialenosť od centroidu ešte menšiu ako modelové dráhy, a teda by boli hypoteticky viac reprezentatívne pre prípadné budúce monitorovanie údajov v študovanom území. Výsledky ukázali, že existuje viacero relatívne vhodnejších, resp. vo väčšej miere reprezentatívnych lavínových dráh, ako sú nami zvolené modelové dráhy. V porovnaní s dráhou Stienky vyšiel nižší index centrality v prípade 35 lavínových dráh (z 56 dráh v rámci typu 1). V porovnaní so Smrekovcom malo nižší index centrality 26 lavínových dráh (z 39 dráh v rámci typu 3). Z týchto lavínových dráh sme následne vybrali jednu dvojicu dráh, ktorá mala najnižší index z dráh, ktoré sa v priestore nachádzali blízko seba

(obr. 3). Dráha nahradzujúca dráhu Stienky je z hľadiska regionálneho typu, ktorý reprezentuje podľa indexu centrality ($IC = 1,18$) o polovicu reprezentatívnejšia a dráha nahradzujúca dráhu Smrekovec ($IC = 0,96$) je reprezentatívnejšia takmer o dve tretiny.

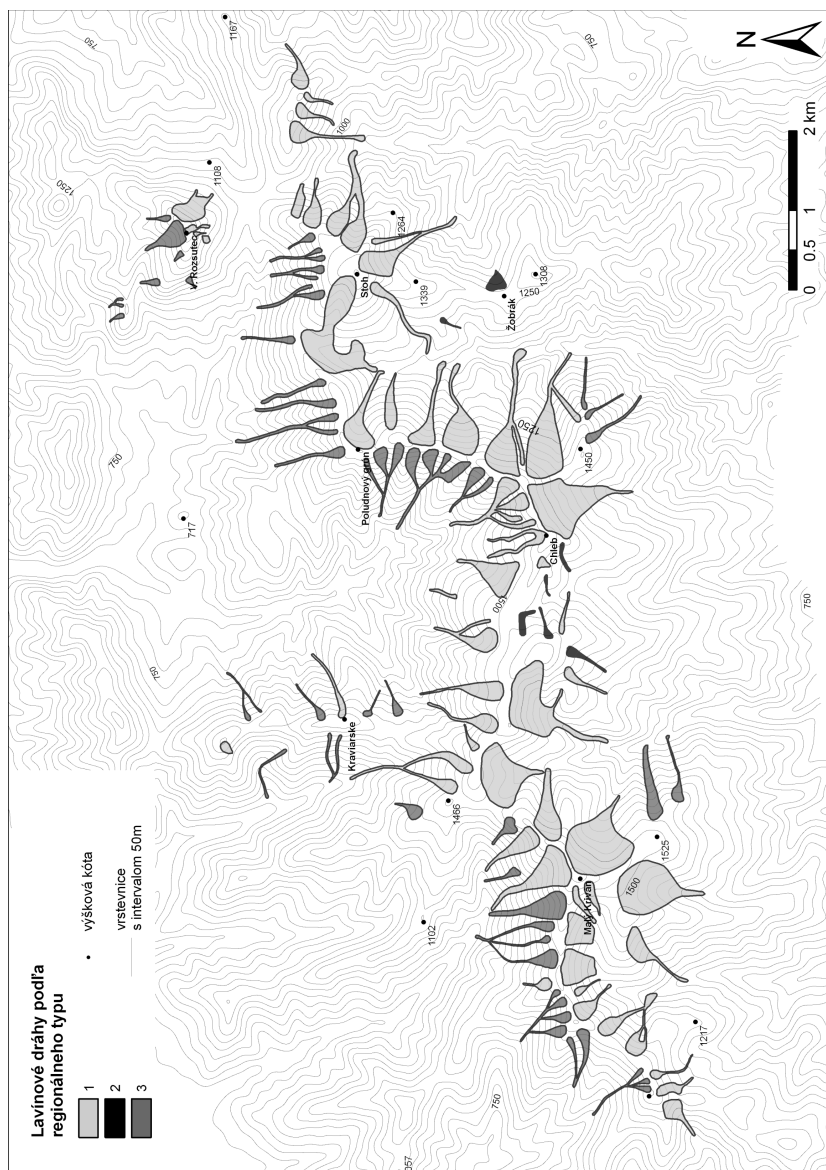
Tabuľka 5 Index centrality IC modelových dráh Stienky a Smrekovec vypočítaný pre deväť najviac diferencujúcich variantov regionálno-taxonomických metód. Variant zvýraznený šedou je použitý v obr. 2 a obr. 3.

Metóda	IC	
	Stienky	Smrekovec
<i>Furthest Neighbor Squared Euclidean</i>	13,605	6,485
<i>Furthest Neighbor Euclidean</i>	13,605	6,485
<i>Furthest Neighbor City Block</i>	8,646	5,394
<i>Ward's Squared Euclidean</i>	2,446	2,725
<i>Ward's Euclidean</i>	2,446	2,725
<i>Ward's City Block</i>	2,397	2,676
<i>K-mean Squared Euclidean</i>	8,015	5,147
<i>K-mean Euclidean</i>	6,542	13,033
<i>K-mean City Block</i>	4,736	3,243

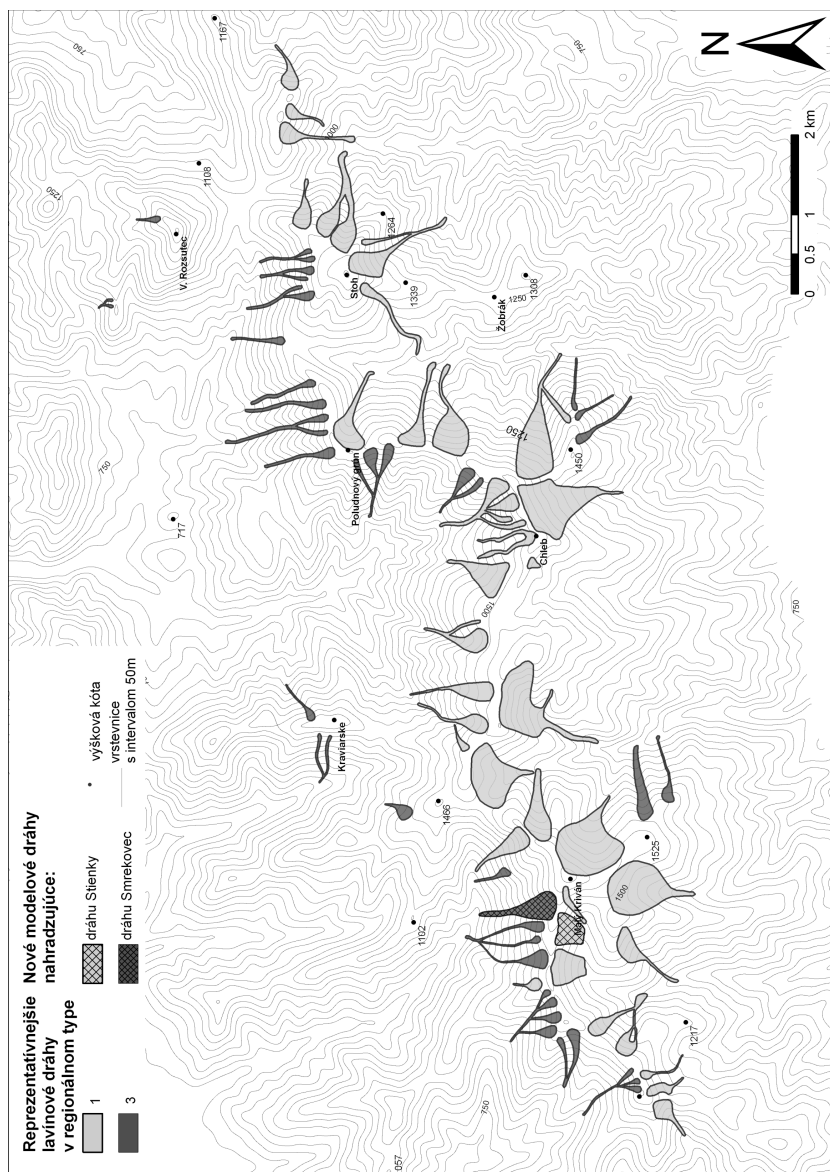
4 DISKUSIA A ZÁVER

Prvým základným prínosom práce je utvorenie modernej databázy lavínových dráh v pohorí Malá Fatra. V porovnaní s doteraz používaným Atlasom lavínových dráh, v zmysle Kňazovický (1978), sa zmenšil počet dráh – zo 142 dráh v rámci Krivánskej Fatry na 99. Toto zníženie je v menšej miere spôsobené zánikom niektorých lavínových dráh výsadbou stabilizačných porastov, hlavne však spojením lavínových dráh so spoločnou akumulácnou oblasťou do jednej entity (bližšie Žiak, 2012). Podstatným prínosom však spresnenie priestorového rozsahu dráh a rozšírenie ich charakteristiky, najmä o kvantitatívne údaje. To umožnilo realizovať aj uskutočnenú štatistickú analýzu.

Všeobecným výsledkom našej analýzy je regionálna typizácia lavínových dráh založená na získaných kvantitatívnych dátach. V príspevku sme sa však predovšetkým pokúsili ukázať, že takáto typizácia môže napomáhať aj k zefektívneniu iného výskumu – v tomto prípade konkrétne optimalizáciou výberu lokalít pre dlhodobý monitoring lavínového ohrozenia. Experiment, ktorý sme realizovali, je založený na originálne definovaných exaktných kritériách posúdenia kvality typizácie a výberu dvoch modelových dráh. Prehodnotenie predbežného expertného výberu modelových lokalít na ich základe predstavuje exaktizačný nástroj pre rozhodovací proces v organizácii vedeckého výskumu.



Obrázok 2 Priestorové rozdelenie lavínových dráh do regionálnych tried v krivánskej časti Malej Fatry podľa Wardovej metódy s využitím Hammingovej vzdialenosti (resp. vzdialenosti „City Block“)



Obrázok 3 Podľa indexu centrality /C reprezentatívnejšie lavínové dráhy ako pôvodné modelové dráhy Stienky a Smrekovec

Fixne definovaný výber práve dvoch lokalít predurčoval počet uvažovaných tried (klastrov). Vynára sa otázka, nakoľko vopred zvolené rozdelenie lavínových dráh len do troch (dvoch hlavných) tried ovplyvnilo prezentovaný výsledok. Expertne vymedzené lavínové dráhy by totiž mohli byť viac reprezentatívne pre určité triedy pri väčšom počte tried (a preto sa nám nejavili byť úplne reprezentatívne pri rozdelení len do troch tried). Zvýšenie počtu hlavných tried by však nutne viedlo k potrebe vyššiemu počtu modelových dráh, čo presahovalo rámec nášho zadania.

Nízka regresia medzi frekvenciou lavín a sledovanými nezávislými premennými nastoľuje otázku, či nami vybrané charakteristiky (vstupné premenné) lavínových dráh sú dostatočne určujúce pre lavínové ohrozenie. Pravdepodobnejšie je to však dôsledok v podstate kvalitatívnych (poradových) hodnôt frekvencie.

Dve primárne expertne vybrané lavínové dráhy sa podľa databázy extrémne líšia aj frekvenciou lavín. Možno práve problematická kvantifikácia tejto veličiny viedla k tomu, že vo finálne použitej verzii typizácie pomocou Wardovej metódy sa dráha Smrekovec (charakterizovaná najnižším intervalom frekvencie) neocitla v triede s najnižšou priemernou frekvenciou (pozri tab. 4). Triedu charakterizovanú najnižšou frekvenciou tu totiž utvorilo deväť extrémne malých marginálnych dráh (7 dráh v Krivánskej Fatre a 2 dráhy v Lúčanskej Fatre). Ak by sme sa preto zamerali na maximalizáciu rozdielu priemernej frekvencie lavín v triedach, do ktorých spadli pôvodné expertne vymedzené dráhy, mohla by sa javiť pre našu analýzu ako optimálna metóda K-priemerov v kombinácii s euklidovskou vzdialenosťou (tab. 4). Avšak v tomto prípade je početnosť vo všetkých troch triedach rovnomerne rozdelená (tab. 3), teda na dostatočnú reprezentáciu celého súboru by sme potrebovali tri modelové dráhy, čo opäť prekračovalo podmienky zadania úlohy.

Literatúra

- BARKA, I. 2003. Identification of snow avalanche trigger areas and avalanche paths by the GIS. *Geomorphologia Slovaca*, roč. 3, č. 2, s. 60-63. ISSN 1335-9541
- BARKA, I. 2005. Niektoré metodické postupy pri mapovaní vybraných geomorfologických procesov. Bratislava, Univerzita Komenského, 103 s.
- BARKA, I., RYBÁR, R. 2003. Identification of snow avalanche trigger areas using GIS. *Ekológia*, vol. 22, no. 2, p. 182-194. ISSN 1335-342X
- BEZÁK, A. 1993. Problémy a metódy regionálnej taxonómie. *Geographia Slovaca*, č. 3, 73 s. ISSN 1210-3519
- HREŠKO, J. 1998. Lavínová ohrozenosť vysokohorskej krajiny v oblasti Tatier. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis, Folia Geographica*, 2, roč. XXX, s. 348-352. ISBN 80-99722-44-6
- HREŠKO, J., BUGÁR, G. 2000. Avalanche hazard in the southeast part of the Belianske Tatry Mts. *Ekológia* (Bratislava), roč. 19, Supplement 2, s. 258-263.
- HREŠKO, J., BUGÁR, G. 2001. Problems of natural hazard assesment and monitoring in the Tatra Mts. *Ekológia* (Bratislava), roč. 20, Supplement 4, s. 96-100.
- KŇAZOVICKÝ, L. 1978. *Atlas lavínových dráh SSR*. Bratislava, HS SÚV ČSZTV.
- KRCHO, J. 1973. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory. *Acta geographica Universitatis Comenianae, Seria Geographico-physica*, 1, s. 11-233.
- MILAN, L. 1981. Spracovanie katastru lavínových terénov a ich topografickej charakteristiky v horstvách Slovenska. *Geografický časopis*, roč. 33, č. 2, s. 145-163. ISSN 0016 7193

- RYBÁR, R. 2002. The model application of the avalanche danger in Western Tatras. *Ekológia*, vol. 21, s. 431-441.
- SZALMOVÁ, L. 2011. *Regionálna typizácia lavínových dráh v Malej Fatre vo vzťahu k modelovým dráham*. Diplomová práca. Bratislava, Univerzita Komenského.
- ŽIAK, M. 2009. Základný koncept navrhovaného lavínového geografického informačného systému. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, roč. IX, č. 1, s. 61-68. ISSN 1337 6799
- ŽIAK, M. 2012. *Lavínová hrozba, bilancia energie a hmoty vo vysokohorskom prostredí*. Dizertačná práca. Bratislava, Univerzita Komenského.

Regional typification and selection of representative avalanche paths in Malá Fatra Mts.

Summary

The avalanche paths in Malá Fatra Mts. were analyzed by statistical methods, in order to verify whether the expert choice of two model paths – Stienky and Smrekovec – is truly representative for other avalanche paths (Fig. 1). Together 104 avalanche paths were analyzed by the method of factor analysis using 15 input variables (Tab. 1): area of avalanche paths; geomorphological signs of avalanche; percentage of alpine meadows, “*Pinus Mugo*” and forests in avalanche paths; mean and standard deviation of altitude, slope, plan and profile curvature; orientation towards sun (temperature effect); orientation towards winds (wind effect). We obtained 6 factors (factor scores) from 15 input variables for every avalanche path (Tab. 2).

Then the avalanche paths were divided into groups by using cluster analysis. We chose three clusters based on the different nature of the model avalanche paths. In the first cluster should be paths similar to Stienky, in second one should be paths similar to Smrekovec and in third cluster should be a small eccentric residuum. We used the 21 variants of clustering by using different methods (Tab. 3). In nine variants of clustering the two model avalanche paths have sufficiently different nature to each other and sufficiently similar nature to other avalanche paths in their clusters and can be considered as representative.

In the next step we compared these 9 variants of clustering in terms of frequency of avalanches. The criterion of best clustering was a *separation index IR* (1) – the maximum difference between the maximum and minimum frequency of avalanches in clusters in given method. The best was Ward's method with separation index twice and more ones bigger than elsewhere (Tab. 4, Fig. 2).

Then we were looking for more representative avalanche paths than the two model ones. We use the *centrality index IC* (2) that expresses the distance of avalanche path from the centroid of the cluster (simplified difference from mean value within the cluster). The lower index value, the lower distance from the cluster centroid too. In this case there is greater similarity to the average value of most avalanche paths within the cluster. Due to this analysis we found out that there are lots of paths with lower index of centrality. There are 35 potentially more representative avalanche paths compared to Stienky and 25 paths compared to Smrekovec. We chose a pair of these more representative paths in one site and with a different orientation. They have a centrality index lower than the expert chosen model avalanche paths by half (Stienky) and two third (Smrekovec) (Fig. 3).